DIE NATURWISSENSCHAFTEN

23. Jahrgang | 21. Juni 1935 | Heft 25

Die Probleme der technischen Lichterzeugung.

Von E. Lax, M. Pirani u. R. Rompe, Berlin.

Der Übergang von der *Βαναυσία* — Handwerk — zur *Τέχνη* — technischen Kunst — hat sich in der Lichttechnik etwa in den letzten 20 Jahren vollzogen, und zwar sowohl bezüglich der Herstellung der Lichtquellen, der Lichterzeugung, als bezüglich der Verteilung des Lichtes, der eigentlichen Beleuchtungskunst.

Eine dritte Gruppe von Problemen, welche die Analyse der Sehfunktion in physiologischer und psychologischer Hinsicht enthält, ist, jedenfalls soweit es sich um lichttechnische Anwendung handelt, erst im letzten Jahrzehnt in ihrer vollen Bedeutung erkannt worden und beginnt erst jetzt berücksichtigt zu werden. Diese Wandlung sei durch zwei Beispiele aus dem Problemkreis der Lichtverteilungstechnik verdeutlicht.

Für Beleuchtungsanlagen war Anfang des 20. Jahrhunderts allein die erzielte Beleuchtungsstärke, die als Horizontalbeleuchtung in 1 m Höhe vom Fußboden gemessen wurde, maßgebend. Es gab einfache Regeln, nach denen Menge und Anordnung der Glühlampen oder Bogenlampen — etwas anderes wurde kaum angewandt — bestimmt wurden.

Heute geht man bei der Auswahl der Beleuchtung von der Arbeit aus, die in dem beleuchteten Raume zu leisten ist. Man untersucht die *Sehaufgabe* hinsichtlich der vom Auge verlangten Auflösungsarbeit und hinsichtlich des vorliegenden Arbeitsmaterials.

Man kommt bei gleichen Anforderungen an die Sehleistung aber verschiedener Beschaffenheit des zu verarbeitenden Stoffes evtl. zu verschiedenen Lösungen. Z. B. wird man, um die besten Sehbedingungen zu schaffen, in der Textilindustrie Webstühle für Baumwolle anders als solche für glänzende Kunstseidengewebe[1] beleuchten.

Diese Art der Behandlung der beleuchtungstechnischen Probleme erfordert, wie schon gesagt, eine gründliche Erforschung der physiologischen und psychologischen Grundlagen des Sehvorganges. Unsere Kenntnisse auf diesem Gebiet sind noch lückenhaft, und es wird wohl noch sehr viel Arbeit erforderlich sein, bis an eine vollständige systematische Lösung der bei der Beleuchtung auftretenden Probleme gedacht werden kann.

Der physiologisch-psychologische Problemkreis läßt sich kurz so kennzeichnen: Es handelt sich darum, zu untersuchen, welche Strahlung von einem gegebenen Empfänger, dem Auge, aufgenommen werden kann, und wie die Beschaffenheit der Strahlung hinsichtlich Intensität und spektraler Zusammensetzung die einzelnen vom Auge beaufsichtigten Leistungen beeinflußt.

Das Auge hat ähnlich wie eine Photozelle eine Empfindlichkeit, die von der Wellenlänge der Strahlung abhängt: Der Ausschlag eines an die Photozelle angeschlossenen Instrumentes, die ihre Maximalempfindlichkeit z. B. im Grün haben möge, wird größer, wenn „grüne" Strahlung auf sie fällt, als wenn sie von einem gleichen Energiebetrag „blauer" oder „roter" Strahlung getroffen wird. Ebenso erzeugt das farbentüchtige (Tagessehen) menschliche Auge cet. par. bei Beleuchtung mit „grüner" Strahlung eine stärkere physiologische Reizempfindung, als bei gleich intensiver „roter" oder „blauer" Strahlung. Diesen physiologischen Effekt, der ein Maß für die Intensität der Strahlung unter Berücksichtigung der spektralen Empfindlichkeit darstellt, nennen wir die Hellempfindlichkeit des Auges.

Soweit ist der Vergleich zutreffend. Während nun aber bei einer Photozelle zwei Strahlungen verschiedener Wellenlänge, sofern das Produkt aus spektraler Empfindlichkeit und Intensität gleich ist, den gleichen Ausschlag des Instrumentes hervorrufen und damit ununterscheidbar sind, hat das Auge außer der Quantitätsempfindung, der Hellempfindung, noch eine Qualitätsempfindung, den Farbeindruck, der eine Unterscheidung der Strahlung verschiedener Wellenlängen innerhalb des Empfindlichkeitsbereiches des Auges ermöglicht.

Wir haben diese Tatsache bereits vorweggenommen, indem wir von „blauer" und „roter" Strahlung sprachen. Sowohl die Hellempfindlichkeit wie die Farbempfindlichkeit des Auges sind komplizierte Funktionen, deren Erforschung wegen der Vielheit der eingehenden Parameter sehr erschwert ist. So hängt Hellempfindlichkeit und Farbempfindung beim Auge vom Umfeld ab, je nachdem ob eine Farbe auf weißem, schwarzem oder farbigem Untergrund erscheint, ist die Empfindung verschieden („bezogene Farben" nach W. Ostwald[1]).

Fällt gemischte Strahlung mehrerer Wellenlängen auf die Zelle, dann werden die einzelnen Teile, gemäß der Empfindlichkeit bewertet, summiert. Entsprechend ist auch der Helligkeitseindruck, den das Auge durch Auftreten der gemischten Strahlung erhält, gleich der Summe der einzelnen Helligkeiten; daneben ist aber ein neuer Qualitätseindruck vorhanden, die Empfindung einer Mischfarbe.

[1] N. Goldstern u. F. Putnoky, Licht u. Lampe **19**, 1231/34, 1277/80 (1930); **20**, 5/9, 25/28 (1931); **21**, 347/51, 364/66, 381/82 (1932).

[1] W. Ostwald, Physikalische Farbenlehre, S. 50. Leipzig 1919.

Für den Quantitätseindruck ist die spektrale Hellempfindlichkeit des Auges maßgebend, die in Fig. 1 dargestellt wird. Für die Farbempfindung kann man nach der Young-Helmholtzschen Theorie die Anregung von 3 Grundreizen summieren. Die Anregungskurven für diese zeigt

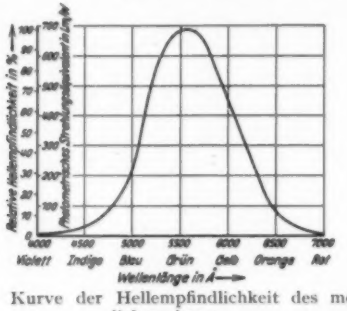

Fig. 1. Kurve der Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges.

Fig. 2. Ein anschauliches Bild vermittelt das Farbdreieck Fig. 3. Jedem Farbeindruck ist ein Punkt zugeordnet. Mischungen ergeben Farbpunkte, die auf der Verbindungslinie der Ausgangsfarben liegen.

Zwischen den Koordinaten der spektralen Hellempfindlichkeitskurve und denen des Farbdreiecks lassen sich zahlenmäßige Beziehungen herstellen, die es gestatten, aus den Farbreizwerten die Helligkeitsempfindungswerte auszurechnen.

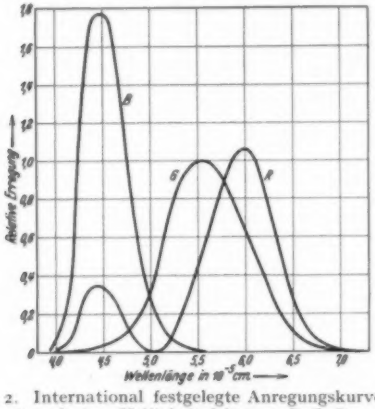

Fig. 2. International festgelegte Anregungskurven für die 3 Grundreize. Helligkeitsfaktoren $R:G:B = 0:1:0$.

Mit diesen Beziehungen haben sich als erste König und Dieterici[1] auseinandergesetzt. Aus der großen Reihe der weiteren Arbeiten seien nur die in neuester Zeit veröffentlichten von Guild und Wright[2] genannt.

[1] A. König u. C. Dieterici, Z. Psychol. **4**, 241 (1892). Vgl. z. B. E. Schrödinger: Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik II, 1. Braunschweig 1926.

[2] W. D. Wright, Trans. opt. Soc. Lond. **30**, 141 (1928); **31**, 201 (1929). — J. Guild, Phil. Trans. A **230**, 149 (1931). Diese Arbeiten bilden die Grundlage der international festgelegten Normalreizwerte, darüber vgl. z. B. Commission Int. de l'Eclairage Cambridge 1931 und D. B. Judd, J. opt. Soc. **23**, 359 (1933).

Wir sehen aus dem Farbdreieck, daß ein gleicher Farbeindruck durch ganz verschiedene Strahlungszusammensetzung hervorgerufen werden kann. Zwei farbgleiche, jedoch in der Zusammensetzung verschiedene Strahlungen können aber hinsichtlich ihrer Bedeutung für eine bestimmte Sehaufgabe starke Unterschiede zeigen. Man wird so z. B. wegen der bekannt mangelhaften chromatischen Korrektur der Augenlinse monochromatisches Gelb wählen, wenn äußerste Sehschärfe[1] erforderlich ist. Bei einem aus Rot und Grün gemischten Gelb mit fast gleichem Farbton würde die Wirkung der Erhöhung der Sehschärfe ausbleiben.

Außer den bisher besprochenen physiologischen Erscheinungen beim Sehen kennen wir noch psychologische Rückwirkungen der physiologischen

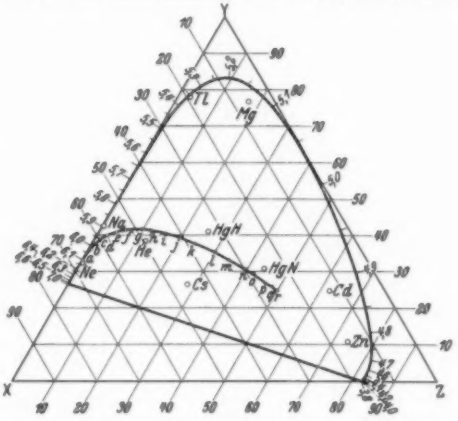

Fig. 3. Maxwell-Helmholtzsches Farbdreieck mit Spektralreizwerten nach Guild-Wright.

Wellenlängen-Angabe in 10^{-5} cm. Der Kurvenzug gibt die Farbpunkte der Strahlung des schwarzen Körpers ($a = 100°$, $b = 1200°$, $c = 1400°$, $d = 1600°$, $e = 1800°$, $f = 2000°$, $g = 2400°$, $h = 2600°$, $i = 3000°$, $j = 3500°$, $k = 4000°$, $l = 5000°$, $m = 6000°$, $n = 8000°$, $o = 10\,000°$, $p = 14\,000°$, $q = 20\,000°$, $r = 28\,000°$). Die Farbpunkte der Wolframglühlampe liegen auf diesem Zuge zwischen g und i. Die Farbpunkte der Gasentladungslampen sind angegeben: Ne = Neon-, Na = Natrium-, Cs = Cäsium-, He = Helium-, HgH = Quecksilberhochdruck-, HgN = Quecksilberniederdruck-, Tl = Thallium-, Mg = Magnesium-, Cd = Kadmium-, Zn = Zink-Gasentladungslampen.

Eindrücke. Die im Sprachgebrauch vorkommende Bezeichnung eines Lichtes als „warm", eines anderen als „kalt", weist darauf hin, daß die physiologisch-psychologischen Wechselwirkungen längst in das Erfahrungsgut übergegangen sind. Trotzdem existiert gerade auf diesem Gebiet noch kein wissenschaftlich gesichertes Material. Der

[1] W. Arndt, Licht **3**, 213 (1933). — W. Arndt u. A. Dresler, Licht **3**, 231 (1933). — L. Schneider, Licht **4**, 122/25 u. 143/45 (1934). — P. J. Bouma, Ingenieur (A) **49**, 31/34, 243/46 u. 290/94 (1934).

Grund hierzu liegt in den Schwierigkeiten, mit denen eine systematische Erforschung derartiger Grenzgebiete verknüpft ist. Der psychologische Tatbestand ist nicht objektiv erfaßbar und von Mensch zu Mensch wechselnd. Deshalb kann in einzelnen Fällen, wie bei stark farbigem Licht, nicht entschieden werden, ob die Beleuchtung von jedem einzelnen als „gut", d. h. in diesem Falle als für eine bestimmte Arbeit zuträglich empfunden werden wird. Es ist bisher deshalb auch nicht möglich gewesen, diesen stark individuellen psychologischen Faktor auszuscheiden und besonders in technischen Extremfällen die Lichtquellen so zu wählen, daß bei wechselnden Versuchspersonen in keinem Fall Unlustgefühle entstehen.

Die Lichtquellentechnik liefert meist für eine bestimmte Sehaufgabe mehrere gleichberechtigte Lösungen. Die Auswahl für konkrete Probleme erfolgt dann nach technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten, wie sie einen großen Teil des Problemkreises „Verteilung des Lichtes" ausmachen. Nehmen wir z. B. die Aufgabe der Schaffung einer dem Tageslicht ähnlichen Beleuchtung. Für Zwecke, bei denen es auf exakte Übereinstimmung der spektralen Intensitätsverteilung ankommt, wie z. B. bei Farbsortierungen, wird man unbedingt eine Lichtquelle wählen, bei der Körperfarben wie bei Tageslicht erscheinen, die also eine möglichst ähnliche Strahlungszusammensetzung hat, z. B. die Kohlensäurelampe, und man wird sich in diesem Fall nicht daran stoßen, daß diese Lampe eine geringe Lichtausbeute hat.

Handelt es sich dagegen darum, Zwielicht zu vermeiden, also den psychologisch als störend empfundenen Farbunterschied bei Lichtquellen, die zusätzliches Licht zum Tageslicht geben, auszugleichen, so genügt eine physikalisch ungenaue Angleichung; dagegen ist es wesentlich, daß diese Verbesserung, ohne den Preis für den Lichtstrom z. B. gegenüber Glühlampenbeleuchtung wesentlich zu erhöhen, herstellbar ist.

Es muß hier betont werden, daß man einem großen Teil der oben angeführten Probleme erst näherkommen konnte, nachdem die Lichtquellentechnik eine Reihe neuer Gasentladungslampen entwickelt hatte, vor allem solcher für monochromatische Lichtströme. Es wurden damit zum ersten Male Sehbedingungen geschaffen, die sehr weit abweichen von dem Normalfall der Beleuchtung mit „weißem" Licht.

Wieweit alle Forderungen, die an die Lichtquellentechnik gemäß den physiologischen und psychologischen Befunden gestellt werden, erfüllt werden können, kann nur mittels einer genauen Kenntnis der Möglichkeiten der Lichterzeugung beantwortet werden. Man kann sogar sagen, daß jede praktische Behandlung lichttechnischer Probleme eine Beherrschung der Lichtquellentechnik voraussetzt, die es ermöglicht, Licht jeder gewünschten Intensität, Leuchtdichte und spektralen Zusammensetzung herzustellen. Dies ist die wichtigste Forderung der Lichttechnik an die Physik.

Die Voraussage der Strahlungseigenschaften für vorhandene oder mögliche Lichtquellen kann nur auf Grund einer Betrachtung der physikalischen Grundlagen der Lichtemission gemacht werden. Die Technik hat dann die sehr schwere Aufgabe, eine technisch-wirtschaftliche Verwirklichung der physikalisch erkannten Möglichkeiten der Lichterzeugung zu suchen.

Die Lichtquellentechnik erhielt um die Jahrhundertwende durch die bekannten Arbeiten Lummers und Pringsheims über die Strahlung des schwarzen Körpers[1] ihre erste große wissenschaftliche Anregung. Die Berechnung der Intensitätsverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers und anschließend die Untersuchungen über die Strahlung fester Körper brachten die Erkenntnisse der vorhandenen Grenzen der Wirtschaftlichkeit der Lichterzeugung mittels der bei Erhitzung strahlenden festen Körper. Die Erkenntnis, daß die Wirtschaftlichkeit der Lichterzeugung mit der Temperatur steigt, führte dazu, nach Körpern mit hohen Schmelzpunkten zu suchen. Eine Reihe von Verbindungen mit hohem Schmelzpunkt wurden hergestellt (Tabelle 1) und auf ihre Eignung als Glühkörper untersucht. Es wurde über die Möglichkeiten der

Tabelle 1.
Schmelzpunkte hochschmelzender Verbindungen.

Verbindungen	Schmelzpunkt	
Titankarbid	3410° K	Fehlergrenze etwa ± 50°
Titannitrid	3220° K	
Zirkonnitrid	3255° K	
Tantalnitrid	3360° K	
Zirkonborid	3265° K	
Hafniumborid	3335° K	
Tantalkarbid	4150° K	
Hafniumkarbid	4160° K	
Zirkonkarbid	3805° K	

Verminderung der Verdampfung und über die Kristallisationsbedingungen der Metalle, vor allem des Wolframs, bei hohen Temperaturen gearbeitet. Die Arbeiten führten zu der Ausbildung der modernen Glühlampen, die ein mit dem vorhandenen Material nicht zu überbietendes technisches Erzeugnis auf dem Gebiete der Lichterzeugung mittels „Temperaturstrahlung" sind.

Die mittlerweile erweiterten Kenntnisse der Strahlungseigenschaften von Atomen, Molekülen im gasförmigen Zustand gaben dann wieder Gelegenheit, die Ergebnisse der reinen Physik nutzbringend für die Lichttechnik zu verwerten und zugleich eine neue Grundlage zur Erforschung weiterer Lichterzeugungsvorgänge zu schaffen.

Wir haben den Versuch gemacht, die Möglichkeiten der Lichterzeugung systematisch in tabellarischer Form zusammenzustellen (Tabelle 2). In dieser Tabelle sind auch die bisher erfolgten technischen Verwirklichungen angeführt. Der folgende

[1] Handbuch der Physik (Geiger u. Scheel) **19**, 1 u. ff. (1928); **21**, 199ff. (1929).

Text soll lediglich einen Kommentar zu Tabelle 2 geben, und macht deshalb keinen Anspruch, für sich allein betrachtet, über einen skizzenhaften Überblick über die behandelte Materie hinauszugehen.

Jeder Lichterzeugung, allgemein jeder Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung, liegt das Vorhandensein eines elektrischen Wechselmomentes zugrunde. Ein solches ist vorhanden:

1. bei periodischen Bewegungen elektrischer Ladungen,

2. bei aperiodischen, insbesondere „plötzlichen" Geschwindigkeitsänderungen bewegter elektrisch geladener Teilchen („Bremsstrahlung").

Vom Grundzustand anregbar ist ferner mit etwas schnelleren Elektronen die gesamte „Resonanzserie", die bei einfach gebauten Atomen aus einer übersichtlichen Folge von Linien besteht. Nahezu isolierte Atome sind in verdünnten Gasen bei Drucken bis zu 10^{-3} mm vorhanden. Man kann daher den Idealfall im physikalischen Experiment nahezu realisieren und erhält sowohl bei Einstrahlung einer Frequenz der Resonanzserie, wie durch Stoß mit Elektronen entsprechender Geschwindigkeit die Strahlung des betreffenden Gliedes der Resonanzserie. Fig. 4 zeigt die Resonanzserie des Natriumatoms.

Das Spektrum eines zweiatomigen Gases kann

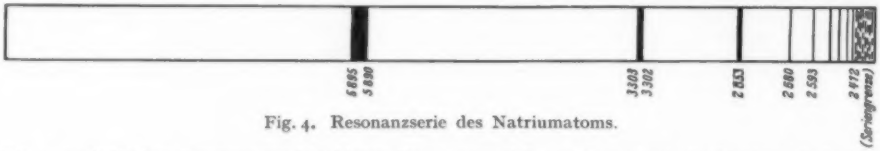

Fig. 4. Resonanzserie des Natriumatoms.

Die zu periodischen Bewegungen befähigten Systeme haben bestimmte charakteristische Eigenschwingungen, „Linien". Wieweit diese zur Emission von Strahlung führen, hängt erstens von der Koppelung des Systems mit der Umgebung und zweitens von der Art der Anregung ab. Uns werden im folgenden die Eigenschwingungen der Atome und Moleküle interessieren.

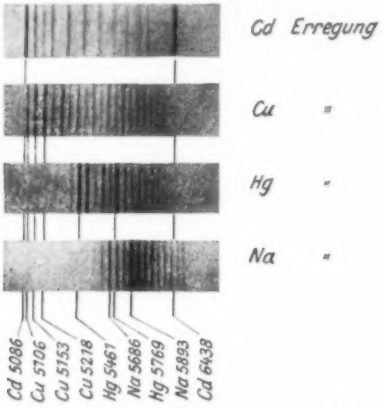

Fig. 5. Resonanzspektrum des J_2, erregt durch verschiedene Linien.

Der Fall idealer Isolierung der Eigenschwingungen ist bei einem einzelnen Atom in einem sehr extrem verdünnten Gas gegeben. Die Grundschwingung, die zur Emission der „Resonanzlinie" Veranlassung gibt, ist isoliert anregbar durch Einstrahlung dieser Schwingung oder durch Stoß von Elektronen bestimmter Geschwindigkeit[1].

[1] Daten darüber z. B. M. Knoll, F. Ollendorf, R. Rompe, Gasentladungstabellen (Berlin 1935).

man sich aus dem eines einatomigen dadurch entstanden denken, daß jede Linie durch Überlagerung der inneren Schwingungen und Rotationen des Moleküls in ein Bandensystem aufgespalten wird. Führt man den Versuch der Resonanzanregung durch monochromatisches Licht oder Elektronen aus, so erhält man in Emission an Stelle einer Linie einen Linienzug. Das typische Bild einer solchen Aufspaltung zeigt Fig. 5 (Resonanzserie des Jodmoleküls).

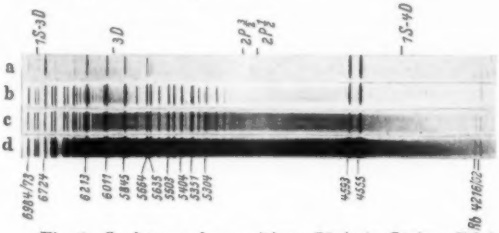

Fig. 6. Spektrum der positiven Säule in Cäsium-Edelgasgemisch bei verschiedenen Cs-Dampfdrucken. a) 0,002 mm, b) 0,02 mm, c) 0,1 mm, d) 100 mm.

Bei mehratomigen Gasen wird infolge der Wechselwirkung der vielen Schwingungsmöglichkeiten das Bandenspektrum noch verwickelter, es geht an einzelnen Stellen in ein kontinuierliches Spektrum über.

Nimmt man weniger verdünnte Gase, so werden bei Atomgasen infolge der Wechselwirkung der einzelnen Atome die Schwingungen „unscharf"; dies äußert sich im Spektrogramm durch eine Verbreiterung der Linien, die bei höheren Drucken recht erhebliche Werte annehmen kann. In Fig. 6 wird die Entwicklung des Cäsiumdampfspektrums im eben angedeuteten Sinne bei Druckerhöhung gezeigt[1]. Bei Molekülgasen äußert sich die Wechsel-

[1] H. Krefft, Naturwiss. **19**, 269 (1931) — Z. Physik **77**, 752 (1932).

wirkung auch darin, daß statt des Resonanzlinienzuges bei höheren Drucken die Emission des mehr oder weniger vollständigen Bandensystems auftritt.

Eine weitere „Auffüllung des Spektrums" tritt dadurch ein, daß bei starker Anregung die Konzentrationen angeregter und ionisierter Atome so groß werden können, daß diese ihrerseits mit den Lichtquanten oder Elektronen in Wechselwirkung treten. Man beobachtet dann „höhere" Linien, d. h. solche, die nicht Absorptionslinien des normalen Atoms sind, und Linien des ionisierten Atoms.

Daneben zeigen sich starke Linienverbreiterungen[1] und Spektralbezirke mit kontinuierlichem Spektrum (vgl. Fig. 6); diese werden oft beobachtet, wenn infolge hoher Ionenkonzentration eine häufige Wiedervereinigung von Ionen und Elektronen zu neutralen Atomen stattfindet.

Bei den Flüssigkeiten ist im allgemeinen die Koppelung der Moleküle so groß, daß isolierte Schwingungsfrequenzen nicht anregbar sind. Nur in den Fällen, wo ein leuchtfähiges Atom oder Molekül abgeschirmt von der Umgebung liegt, „fluoreszenzfähig" ist, kann ein bestimmtes Frequenzgebiet, eine meist kontinuierliche Bande, von diesem absorbiert und dann wieder ausgestrahlt werden; für Emission und Absorption gilt hierbei die Stokessche Regel; danach ist die Frequenz der ausgestrahlten Energie kleiner oder höchstens gleich groß, wie die der absorbierten Strahlung[2]. Zu den fluoreszierenden Flüssigkeiten gehören z. B. Fluoreszein, Eosin, Rhodamin.

Unter den nichtmetallischen festen Körpern gibt es eine große Anzahl, bei denen ein Atom als „Leuchtsystem" geschützt ist, das Verhalten ist dann dem der fluoreszenzfähigen Flüssigkeiten, vor allem bei tiefen Temperaturen, ähnlich. Als Beispiel sei das Spektrum des Benzols bei Anregung durch Strahlung angeführt (Fig. 7). Über eine andere Gruppe von „lumineszenzfähigen" festen Körpern, die sog. „Phosphore" (Lichtträger), wird weiter unten etwas eingehender gesprochen werden.

Die Anregung von Eigenschwingungen durch Elektronenstoß ist bei Flüssigkeiten nicht beobachtet worden, bei festen, nichtmetallischen Körpern nur bei den Phosphoren. Bei Metallen wird beim Auftreffen von Elektronen eine Strahlung beobachtet, die auf den Abbremsvorgang der Elektronen an der Metalloberfläche zurückgeht (Bremsstrahlung). Diese Bremsstrahlung liegt z. B. bei Elektronengeschwindigkeiten von 7 Volt bei W, Al, Be, Th, Pt, Cu, Ag im Sichtbaren und nahen Ultraviolett[3]. In Röntgenröhren wird dieser Bremsvorgang von sehr schnellen Elektronen (bis zu 10^6 Volt) an Metallen zur Erzeugung von Röntgenstrahlung benutzt.

Die schon erwähnten Leuchtsysteme der Phosphore können außer durch schnelle Elektronen auch durch Stoß schwerer Partikeln (α-Strahlung) zur Strahlung angeregt werden.

Als Anregung für die Strahlungsemission hatten wir bisher in Betracht gezogen: Einstrahlung mit einer bestimmten Frequenz und Stoß von Elektronen bestimmter Geschwindigkeit. Eine weitere Möglichkeit, eine diskrete Energiemenge zuzuführen, ergibt die Übertragung von Anregungsenergie bei Atom- oder Molekülstößen, wie sie bei chemischen Reaktionen, in gasförmigen oder flüssigen Substanzen beobachtet wird (Chemilumineszenz). Genau wie bei den anderen Anregungsarten entsteht in Gasen dann eine Linie oder Bande, in Flüssigkeiten eine über einen Spektrumsabschnitt kontinuierliche Strahlung. Diese Art der Strahlungsanregung ist auch an Oberflächen einiger fester Körper möglich; man

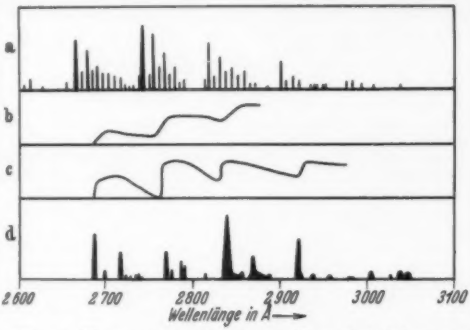

Fig. 7. Fluoreszenzspektrum des Benzols bei Anregung mit dem Spektrum des Quecksilbers im Ultraviolett. a = gasförmig; b = flüssig; c = fest bei 0°C; d = fest bei −180°C.

beobachtet z. B. an einigen Oxyden eine besondere Strahlungsemission in der Wasserstoffflamme und erklärt sie durch Reduktionsvorgänge[1].

Bei den bisher betrachteten Fällen der Anregung von Strahlungsemission handelte es sich fast immer um leuchtfähige Systeme, bei denen der Abstrahlungsmechanismus so weit von den inneren und äußeren Bewegungsvorgängen isoliert ist, daß eine Energiezerstreuung auf diese den Emissionsvorgang nicht beeinflußt.

Während bei isolierten und ungestört schwingenden Atomen der statistische Begriff der Temperatur, der bestimmte Ausgleichsmöglichkeiten zwischen den inneren Mechanismen voraussetzt, nicht angewandt werden kann, ist dies bei dicht-

[1] Diese treten z. B. in Hg-Hochdrucklampen für Kinoprojektion auf. (M. Pirani u. R. Rompe, Kinotechnik **15**, 131 (1933).

[2] P. Pringsheim, Fluoreszenz und Phosphoreszenz, S. 166. 3. Aufl. Berlin 1928.

[3] F. L. Mohler u. C. Boeckner, Bur. of Stand. J. Res. **7**, 751 (1931).

[1] Vgl. die Arbeiten von E. L. Nichols u. Mitarbeitern z. B. Physic. Rev. **17**, 453 (1921); **19**, 300 (1922); **22**, 420 (1923); **25**, 376 (1925); und weiter M. L. Phillips, Physic. Rev. **32**, 832 (1928).

gepackten Atomen, wie sie sich bei festen Körpern vorfinden, möglich. Im Temperaturgleichgewicht verteilt sich die emittierte Energie auf alle möglichen Schwingungsfrequenzen des Systems nach Gesetzen, die vom Gesamtenergieinhalt und den Strahlungseigenschaften des betreffenden Körpers bestimmt werden. Man erhält Spektren, die bei Gasen neben einem schwachen kontinuierlichen Untergrund ein Linienspektrum zeigen. In Fig. 6d ist als Beispiel hierfür das Spektrum des Cäsiums bei 100 mm Cäsiumdampfdruck gezeigt worden. Die folgende Fig. 8 zeigt das Spektrum einer Quecksilberlampe für etwa 150 Atmosphären, wie sie von C. Bol[1] gebaut worden ist, welches einen ähnlichen Charakter hat. Ähnliche Spektren haben auch die Dämpfe im Lichtbogen der bekannten „Effektbogenlampen", die früher vielfach zur Straßenbeleuchtung verwandt wurden.

Bei festen Körpern und Flüssigkeiten ist das Spektrum kontinuierlich, es kann, wie z. B. bei Kohle, in größeren Spektralgebieten eine Energieverteilung, die der der Strahlung des schwarzen Körpers gleicht, oder wie z. B. beim Erbium[2], noch ausgeprägte Bandenstruktur haben.

Die Auswahl, die die Lichtquellentechnik aus der Fülle der physikalischen Möglichkeiten getroffen hat, ist einerseits bedingt durch die Naturkonstanten der Materialien, andererseits durch den Stand der Forschung und den der Technik. An Naturkonstanten, die die Anwendungsmöglichkeiten eines Prozesses zur Lichterzeugung bestimmen, seien z. B. genannt: Dampfdruck, Schmelzpunkt, chemische Reaktionsfähigkeit. Weiter die Lage der Emissionsfrequenzen in bezug auf die Hellempfindlichkeit des Auges.

Neben den Materialeigenschaften ist die Möglichkeit einer rationellen Energiezufuhr für technische Lichtquellen von sehr großer Bedeutung. Bei metallischen festen Körpern ist die geeigneteste Art die Erhitzung bei Stromdurchgang (Glühlampen) oder auch durch eine Bogenentladung (Kohlebogen). Bei nichtleitenden Materialien hat man mit Erfolg die Erhitzung in einer Flamme angewendet (Gasglühlicht).

Für gasförmige Stoffe ist die gegebene Art der Anregung zur Emission von Licht die elektrische Gasentladung, die gleichzeitig eine für die moderne Technik sehr erwünschte direkte Umformung von elektrischer Energie in Licht liefert. Um lichttechnisch die Strahlung der Gase und Gasgemische voll ausnützen zu können, war eine systematische Untersuchung nötig; es mußten Strahlungseigenschaften in Abhängigkeit von Gasdichte und Stromdichte untersucht werden. Diese Erforschung ist erst zum allergeringsten Teil durchgeführt. Der Grund hierfür ist der, daß diese Untersuchungen infolge der großen experimentellen Schwierigkeiten und der vielen notwendigen Variationen einen großen Zeit- und Arbeitsaufwand bedingen. Hierbei muß in vielen Fällen die Technik erst Materialien schaffen, die die Ausführung der physikalischen Forschung ermöglichen.

Ein Beispiel dafür ist z. B. die Natriumlampe. Daß die Resonanzlinie des Na in der Nähe des Maximums der Augenempfindlichkeit liegt, war lange bekannt. Ob eine wirtschaftliche Erzeugung dieser Resonanzstrahlung möglich ist, war nicht untersucht worden. Dies war erst möglich, als ein Glas, das von Natriumdampf nicht angegriffen wird, hergestellt wurde. Man untersuchte die Entladung in Natriumdampf und maß den Wirkungsgrad der Umsetzung von Elektronenstoßenergie in Strahlung. Bei ausreichenden Dampfdichten und geringen Stromdichten fand man fast 80% Umsetzung[1]. Dieser günstige Umsatz, der sich bei späteren Versuchen bis fast 100% steigern ließ, ist aber nur im Laboratoriumsversuch zu erzielen; eine andere Naturkonstante, die Größe des Dampfdruckes des Natriums, bedingt, daß die Temperatur der Innenwand einer Natriumdampflampe etwa 280° hoch sein muß. Das bedingt Verluste durch Wärmestrahlung, Konvektion und Wärmeleitung. Die technische Lichtquelle kann deshalb nur bei Anregungsbedingungen arbeiten, die nicht zur restlosen Umsetzung in Lichtstrahlung führen, da von vornherein eine gewisse Leistung zur Deckung der eben erwähnten Verluste erforderlich ist. In der Strahlung der

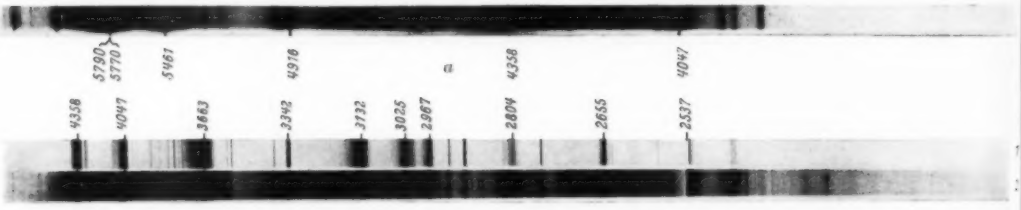

Fig. 8. Spektrum einer Hg-Lampe nach C. Bol. a = Sichtbares Spektrum. b = U.V. (*1* kurze, *2* längere Belichtungszeit).

[1] Licht u. Lampe **24**, 177 (1935).

[2] Vgl. Handbuch der Physik (Geiger u. Scheel) **21**, 247 (1929).

[1] M. Pirani, Z. techn. Physik **11**, 482 (1930). — H. Krefft, M. Reger u. R. Rompe, Z. techn. Physik **14**, 242 (1933).

positiven Säule der technischen Natriumröhre überwiegt die Resonanzlinie, wie die Tabelle 3 zeigt.

Wie sich die Gesamtbilanz der technischen Natriumlampe gestaltet, wird etwas weiter unten gezeigt werden.

Bei allen anderen bisher benutzten Gasentladungslampen tragen nur „höhere Linien" zur Lichterzeugung bei (Hg, He, Ne, Zn, Cd usw.).

Sobald eine Vielheit von Linien ausgesandt wird, liegt meist ein beträchtlicher Teil der Strahlungsenergie außerhalb des sichtbaren Gebietes. Der Anteil der im Ultraviolett liegenden Linien kann evtl. durch Einstrahlung in leuchtfähige

Tabelle 2. Die Möglichkeiten der Lichterzeugung und ihre technische Verwertung.

A. Anregung durch Elektronenstoß.

Atomart	Dichte Moleküle im cm^3	Stromdichte Amp/cm^2	Kennzeichnung	Beispiele für technische Verwertung
			I. Anregung von einatomigen Gasen und Dämpfen.	
1. Na Hg Tl	10^{12} bis 10^{13}	0,01 bis 0,3	Bei kleinen Dichten und Stromdichten: Die Konzentration der angeregten und ionisierten Atome ist klein, desgl. die Zahl der Stöße mit Elektronen: Ungestörte Ausstrahlung der Resonanzlinie.	Na-Lampe für Straßenbeleuchtung. Tl-Spektrallampe Hg-Lampe mit Phosphoren
2. He Ne Ar Kr Xe Hg Cd Zn Mg Cs Rb	10^{14} bis 10^{17}	0,2 bis 0,8	Die Konzentration der angeregten Atome erreicht so hohe Werte, daß die Elektronen merklich mit den angeregten Atomen in Wechselwirkung treten: Ausstrahlung der durch stufenweise Anregung aufgefüllten Niveaus, höhere Linien.	Hg, Ne } Reklameröhren He Ne Cd Zn } Spektrallampen Hg, Ne } „Lichtspritzen"
3. Hg, He Ca Cs Ce Rb Cererd. Substanzen des Effektbogens	10^{17} bis 10^{19}	0,5 bis 1	Mit wachsender Dichte und Stromdichte verschiebt sich der Schwerpunkt der Emission nach höheren Niveaus	Hg-Hochdrucklampe Hg-Spektrallampe
4. Rb Cs K He Mg Zn Ca	10^{15} bis 10^{19}	etwa 1	Erscheinungen der gegenseitigen Beeinflussung strahlender Atome bei höheren Ionisationsgraden: 1. Verbotene Linien. 2. Verbreiterung der höheren Serienglieder, 3. Wiedervereinigungsleuchten, 4. Polarisationsmoleküle	Rb-Spektrallampe Cs-Spektrallampe
5. Hg	10^{20} bis 10^{22}	bis 20000	Erscheinungen bei extrem hohen Dichten und Stromdichten: Verbreiterung der Linien, anomale Intensitätsverteilung, Auftreten hoher Funkenlinien, Auftreten starker Kontinua.	a) hohe Gasdichte: Hg-Speziallampen für hohe Leuchtdichte b) hohe Stromdichte: Stoßentladungslampen für Kinoprojektion
			II. Anregung zweiatomiger Gase und Dämpfe	
N_2 CO Te_2 J_2	10^{12} bis 10^{19}	10^{-2} bis 10	Analoges Verhalten zu Atomen: Bei geringer Konzentration angeregter Moleküle „Resonanzbanden", bei wachsender Konzentration höhere Banden usw.	N_2-Lampe Te-Lampe N_2-Lichtspritze
			III. Anregung mehratomiger Moleküle	
CO_2 $TiCl_4$ $ZrCl_4$ C_2H_2 u. a.	10^{12} bis 10^{19}	10^{-2} bis 1	Falls bei Dissoziation einfache (zweiatomige) Moleküle gebildet werden, werden diese angeregt. Sonst wie unter II	Tageslichtlampen
			IV. Lichterzeugung infolge Wechselwirkung von schnellen Elektronen mit fester Materie	
Metalle	10^{23}	—	1. Strahlungserzeugung durch Abbremsung von Elektronen	Röntgenröhren, für sichtbares Licht bisher nicht verwendet
Lenardphosphore	10^{17} (Leuchtsysteme)	—	2. Anregung von besonderen isolierten Leuchtsystemen in kristallinen festen Körpern. (An Stelle von Elektronen können auch schwere Teilchen [α-Teilchen, Protonen u. a.] verwendet werden.)	Phosphorenszenzschirme; radioaktive Leuchtfarben
Rubinphosphore	10^{23} (Grundsubstanz)	—		

B. Elektromagnetische Strahlung im Gleichgewichtszustand (Temperaturgleichgewicht).

Atomart	Dichte Moleküle im cm^3	Stromdichte Amp/cm^2	Kennzeichnung	Beispiele für technische Verwertung
Metalle	10^{23}	ca. 600 und mehr	Alle Materie emittiert ständig elektromagn. Strahlung, deren Zusammensetzung durch den Energieinhalt des Körpers (Temperatur) und seine Strahlungseigenschaften gegeben ist. (Theor. sind diese für Idealfall des schwarzen Körpers erfaßbar.) Nach der Art der Energiezufuhr unterscheidet man: 1. Energiezufuhr a) bei leitenden Metallen durch Elektronenstoß, b) bei elektrolytisch leitenden Oxyden durch Ionenstoß (Stromwärme). 2. Energiezufuhr durch Partikelstöße, z. B. beim Erhitzen (vgl. auch Chemilumineszenz). 3. Energiezufuhr durch (im wesentlichen) Elektronenstoß: in Gasen bei Dichten über etwa $10^{19}\,cm^{-3}$ in der Gasentladung (vgl. A I 5a). 4. In Gasen allgemein durch Partikelstoß bei „thermischer Anregung".	1. a) Wolframglühlamp., Kohlefadenlampe, Krater der Bogenlampe, b) Nernstlampe. 2. Gasglühlicht. 3. Bogenlampe mit Effektkohlen Höchstdruck-Hg-Lampe 4. Na-Flamme
Oxyde	10^{23}			
N_2-Bogen	10^{19}			
Hg	10^{19} bis 10^{22}			
Unterwasser-Funken und -Bogen (H_2O)	10^{23}			
Jod . . . . von 800° an				
Schwefel . . „ 1000° „				
Natrium . . „ 1000° „				
Selen . . . „ 1000° „				
Tellur . . . „ 1000° „				
u. a.				

C. Chemilumineszenz.

Atomart	Dichte Moleküle im cm^3	Stromdichte Amp/cm^2	Kennzeichnung	Beispiele für technische Verwertung
NaCl-Reaktion im gasförmigen Zustand Akridin-Lumineszenz im flüssigen Zustand Leuchtfliege Kristallisationsleuchten im festen Zustand	10^{10}		*Chemilumineszenz*, die bei gewisser chem. Reaktion freiwerdende Energie wird entweder durch *Resonanzübertragung* oder durch Partikelstoß auf ein leuchtfähiges System übertragen, 1. bei Reaktionen im Gaszustand: Linien bzw. diskretes Bandenspektrum, 2. bei Reaktionen im flüssigen Zustand: kontinuierliches Bandenspektrum	Bunsenflamme, Auerbrenner

D. Anregung durch Strahlung.

Atomart	Dichte Moleküle im cm^3	Kennzeichnung	Beispiele für technische Verwertung
		Einstrahlung einer Linie (Resonanzlinie)	
Na, Tl, Hg, usw.	10^3 10^{10}—10^{12}	**Einatomige Gase:** *bei kl. Dichten:* Abstrahlung der Resonanzlinie im Volumen (schwache Absorption). *Bei gr. Dichten:* Oberflächenresonanz an der Auftreffstelle der Strahlung (starke Absorption).	—
S_2Te_2 S_2J_2	10^3 10^{10}—10^{12}	**Zweiatomige Gase:** *bei kl. Dichten:* Ausstrahlung der Resonanzserien. *Bei gr. Dichten:* Ausstrahlung des Resonanzbandensystems.	—
		Einstrahlung eines größeren Spektralbereiches (oder einer Linie daraus)	
Alle Gase	—	**Gase:** Ausstrahlung des ganzen Absorptionsspektrums	—
Fluoreszein, Eosin, Rhodamin u. a.	10^{17} d. Farbstoffes, 10^{22} des Lösungsmittels	**Flüssigkeiten:** Lichtemission in seltenen Fällen: Fluoreszierende Flüssigkeiten. Ausstrahlung einer stark verwaschenen Bande	Rhodaminfarben
Benzol bei tiefen Temperaturen, Uranylsalze	10^{23}	**Feste Körper:** *Kristalliner Bau:* das Leuchtsystem ist besonders geschützt, das Verhalten ist ähnlich dem der Moleküle im Gaszustand bei genügend tiefer Temperatur.	—
Lenard-Phosphore, Rubin, Calcit, Uranylsalze, Farbstoffphosphore, Anilinfarben	10^{17} Zentren / 10^{23} Grundsubstanz	*Phosphore:* Anregung durch eingebaute Fremdatome, die Energieübertragung ist mit Frequenzänderung verbunden.	Hg-Röhren mit Phosphoren, phosphoreszierende Leuchtfarben

Tabelle 3. Verhältniszahlen für die spektrale Intensität und spektrale Lichtstärke der Linien der positiven Säule einer Natriumlampe.

Der Natriumdampfdruck beträgt etwa $5 \cdot 10^{-3}$ mm, die Stromdichte 1 A/cm², Grundgas: Neon von einigen Millimetern Druck.

Wellenlänge in Å.E.	Relative Intensität[1] J_λ	Relative Lichtstärke $J_\lambda \cdot V_\lambda$ (V_λ = Augenempfindlichkeit)
11404—382	10	0,0
8195— 83	19	0,0
6161— 54	0,3	0,13
5896— 90	100	76,5
5688— 83	1,2	1,15
5154— 49	0,1	0,06
4983— 79	0,2	0,05

$\sum J_\lambda = 130{,}8$; $\sum J_\lambda \cdot V_\lambda = 77{,}90$; $\frac{\sum J_\lambda \cdot V_\lambda}{\sum J_\lambda} = 0{,}595$;

Lichtausbeute für die Gasstrahlung[2]

$$\frac{0{,}595}{0{,}00145} = 410 \text{ HLm/W}.$$

Phosphore zur Lichtgewinnung ausgenutzt werden.

Bei der Bedeutung, die die Phosphore vermutlich in der Lichtquellentechnik durch ihre Eigenschaft als „Lichttransformatoren" erlangen werden, mag ein kurzes Eingehen auf den Leuchtmechanismus gerechtfertigt erscheinen. Bei der Phosphoreszenz fester oder flüssiger Substanzen handelt es sich um einen Vorgang, der trotz gewisser äußerlicher Ähnlichkeit mit der Fluoreszenz gasförmiger und flüssiger und fester Stoffe doch wesentlich von dieser verschieden ist: Während man von Fluoreszenz immer dann spricht, wenn der Träger der Absorption zugleich auch Träger der Reemission sein kann, spricht man von Phosphoreszenz, wenn Absorption und Emissionsträger nicht wesensgleich sind.

Der Zusammenhang zwischen Absorptions- und Emissionsvorgang ist, trotz einiger verheißungsvoller Ansätze[3], noch keineswegs restlos geklärt. Von einer der praktisch wichtigsten Gruppe von Phosphoren, den Lenard-Phosphoren[1], weiß man, daß sie die Fähigkeit besitzen, die Anregungsenergie über eine gewisse Zeit zu konservieren. Diese Fähigkeit ist an die Anwesenheit sog. Aktivatoren (z. B. Ag, Cu- usw. Atome)- gebunden, die in sehr großer Verdünnung, etwa 10^{-6}, im Grundmaterial eingelagert sind. Durch einen noch unbekannten Mechanismus, bei dem die Wärmebewegung eine Rolle spielt, wie man aus der Temperaturabhängigkeit des „Ausleuchtens" eines Phosphors entnehmen kann, wird die Anregungsenergie an das leuchtfähige System übertragen.

Das Spektrum der Lenard-Phosphore unterscheidet sich von dem der fluoreszierenden Gase oder Flüssigkeiten. Bei diesen ist infolge der Identität von absorbierendem und emittierendem System die Lage der wirksamen Wellenlängen der Emission gesetzmäßig mit der der Absorption verknüpft. Absorptions- und Emissionsbanden schließen aneinander an und überlappen sich. Bei den Lenard-Phosphoren ist ein derartiger Zusammenhang nicht unmittelbar gegeben; jedoch gilt aus energetischen Gründen die allgemeine Regel, daß die Absorptionsstellen bei kleineren Wellenlängen als die der Reemission liegen. Ihre Lage im Spektrum ist von der Zusammensetzung und Struktur des Phosphors stark abhängig.

Fig. 9 zeigt, wie man die Lage des im kurzwelligen Ultraviolett liegenden Absorptionsspektrums eines Phosphors dadurch sichtbar machen kann, daß man dem erregenden, ultravioletten Lichtstrahl eine Glasplatte in den Weg stellt, auf die der Phosphor aufgestrichen ist. Die photographische Schicht erhält daher nur das vom Phosphor in sichtbares oder gegebenenfalls in langwelliges Ultraviolett umgewandelte Licht[2].

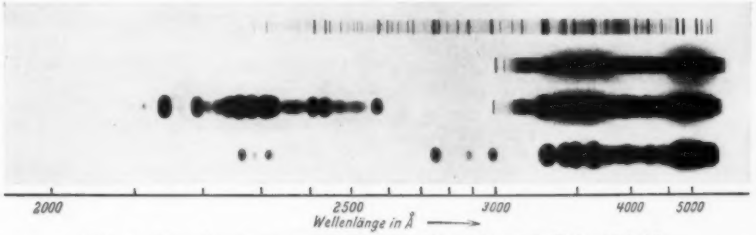

Fig. 9. Phosphoreszenz von Calciumwolfram (*c*) und Zinksulfid (*d*).
a = direkte Aufnahme des erregenden Spektrums, *b* = dieselbe Aufnahme mit vorgesetzter klarer Glasplatte.

Was die Ausbeute der Phosphore betrifft, so kann man wohl als gesichert annehmen, daß die „Quantenausbeute", d. h. die Zahl der reemittierten Lichtquanten, bezogen auf die Zahl der absorbierten, ~ 1 ist, genau wie im Idealfall bei

[1] Die Intensitäten der Linien 5890—96 sind willkürlich gleich 100 gesetzt.

[2] D. h. für die durch das Glas hindurchkommende Strahlung des Gases.

[3] R. W. Pohl, Naturwiss. **16**, 477 (1928). — W. Koch u. R. W. Pohl, Gött. Nachrich. **1**, 6 (1929).

[1] Handbuch der Experimentalphysik (Wien-Harms **23**, Tl 1 u. 2. Leipzig 1928.

[2] G. Heyne u. M. Pirani, Z. techn. Physik **14**, 31/33 (1933) — Techn.-Wiss. Abh. a. d. Osram-Konzern **3**, 56 (1934).

der Fluoreszenz der gasförmigen Stoffe. In Tabelle 4 sind einige Daten zu dieser Frage zusammengestellt.

Tabelle 4. Energieumsatz einiger Phosphore.

Phosphore	Erregung: Bestrahlung durch	Quantenausbeute %	Energetische Ausbeute %	Lichtausbeute Lm/W	Literatur
Zinksulfid	λ 3650/63	100	70	230	A. Dresler, Licht **1933**. Nr 9 u. 10
Rhodamin in Glyptal	λ 5770/90	50	48	94	do.
Rhodamin in H_2O gelöst, 10^{-5} g/cm³	100 Watt-Glühlamp.	—	25—50	—	S. J. Wawilow Z. Physik **1924**, Nr 22, 266
Fluoreszein in H_2O gelöst 10^{-5} g/cm³	100 Watt-Glühlamp.	—	60—80	—	do.
Zinksulfid	α-Strahlung	—	80	—	P. M. Wolf u. N. Riehl, Ann. Physik **1931**, Nr 1, 103

Die maximal mögliche energetische Ausbeute der Phosphore ist gegeben durch das Verhältnis ν_2/ν_1, wenn ν_1 die absorbierte, ν_2 die emittierte Frequenz ist, bzw. durch das Wellenlängenverhältnis λ_1/λ_2.

Hat man z. B. einen im Grün strahlenden Phosphor ($\sim$ 5000 Å), so ist bei Anregung durch die Hg-Resonanzlinie 2537 Å ein Wirkungsgrad von nahezu 50% zu erhoffen. Da man andererseits gelernt hat, die Resonanzlinien der Atome mit hohem Wirkungsgrad in der Gasentladung anzuregen (vgl. das über Na oben Gesagte), lassen sich mittels Hg-Röhren, die mit einer Lichttransformation mittels Phosphor arbeiten, recht erhebliche Lichtausbeuten herstellen. (S. Tabelle 5, vorletzte Spalte.)

Fig. 10. Spektrum einer Quecksilber-Phosphoreszenzröhre. Aufnahme mit Stufenfilter.

Die spektrale Zusammensetzung des von einer Phosphoreszenzröhre emittierten Lichtes zeigt Fig. 10. Das Spektrum zeigt die Hg-Linien sowie die vom Phosphor ausgesandte kontinuierliche Bande. Es gibt Phosphore, bei denen die Emissionsbande im Gelbrot liegt, so daß in Kombination mit den blauen und grünen Hg-Linien ein weißes Aussehen der Lichtquelle hervorgerufen wird.

Bei den Phosphoreszenzröhren, wie überhaupt auf dem ganzen Gebiet der Lichterzeugung mittels Gasentladung, steht man erst im Anfang der Entwicklung. Die Durchforschung aller der hier skizzenhaft aufgeführten Möglichkeiten der Lichterzeugung hat naturgemäß nicht in der kurzen Zeit von etwa 6 Jahren, die seit dem neuen Ansatz verstrichen sind, geleistet werden können. So ist auch die Zahl der bisher ausgebildeten neuen technischen Lichtquellen nur gering, zum mindesten im Vergleich zu der Vielzahl der vorhandenen Möglichkeiten.

Hemmend auf die Entwicklung wirkte auch der Umstand, daß die Eigenschaften der neuen Gasentladungslichtquellen, sowohl der spektralen Zusammensetzung der Strahlung, wie der elektrischen Charakteristik nach, sehr von denen der Glühlampen verschieden sind. Dies bedingte die Notwendigkeit, für ihre Anwendung und Bewertung nach neuen Wegen zu suchen. Die Messungsmethoden für Lichtstrom und Leistungsaufnahme mußten neu ausgebildet werden. Besonders die Messung der Leistungsaufnahme erwies sich bei den mit Wechselstrom unter Vorschaltung von Drosselspulen betriebenen Lampen als äußerst schwierig; die üblichen Meßmethoden ergeben nicht übersehbare Fehler[1]. Es erwies sich schließlich als erforderlich, auf kalorimetrische Methoden zurückzugreifen, um die aufgenommene Energie zu bestimmen.

Die technische Entwicklung ist, wie bereits eingangs erwähnt, außerdem eng mit wirtschaftlichen Erwägungen verknüpft, die wiederum von wissenschaftlich zwar uninteressanten, aber praktisch richtunggebenden Faktoren (wie z. B. die Entwicklung der Strompreise) beeinflußt werden. Eine prophetische Diskussion über die Aussichten zukünftiger Lichtquellen erscheint deshalb im Rahmen dieser Zeitschrift müßig.

Der kurze Überblick sei vervollständigt durch nähere Angaben über einige der wichtigsten der neu entwickelten Lichtquellen.

Der technische Fortschritt, der am Anfang der neuen Entwicklung der Gasentladungslichtquellen steht, ist die Herstellung von neuartigen, im Betriebszustand glühenden Oxydelektroden, die den Betriebsbedingungen der Gasentladungsröhren standhalten[2]. Der Hauptgewinn, der mit ihnen erzielt wird, ist die Herabsetzung des „Kathodenfalles", der bei kalten Metallelektroden etwa 100—300 Volt beträgt, auf einige Volt. .

Dadurch ist es ermöglicht worden:

1. Entladungsröhren herzustellen die an Netzspannung gebrannt werden können und
2. die Stromdichte zu steigern, ohne befürchten zu müssen, daß eine Aufzehrung der Gasfüllung durch das zerstäubende Elektrodenmaterial eintritt.

In einigen Fällen werden die Elektroden

[1] H. Ewest, Z. techn. Physik **14**, 478/80 (1933) — Techn.-Wiss. Abh. a. d. Osram-Konzern Berlin **3**, 57 (1934).

[2] M. Pirani, Elektrotechn. Z. **51**, 892 (1930).

dauernd geheizt. In anderen Fällen wird nur eine Vorerhitzung bei der Zündung vorgenommen. Wieder bei anderen Entladungsröhren ist überhaupt keine „äußere" Heizung der Elektroden vorgesehen, sondern man überläßt die Aufheizung der Entladung (Anodenfallheizung).

Die Reklameröhren, bei denen infolge der Länge der Gasentladungsstrecke ohnedies eine viel größere Spannung als die aus dem Netz zur Verfügung stehende gebraucht wird und daher im Verhältnis zu der Gesamtspannung der im Kathodenfall aufgebrauchte Spannungsteil gering ist, werden zum größten Teil noch ohne Oxydelektroden gebaut.

Im erheblichen Umfang werden bisher zwei Gasentladungslichtquellen zu Beleuchtungszwecken benutzt: die Natriumlampen und die Quecksilberhochdrucklampen. In der Verwendungsmöglich-

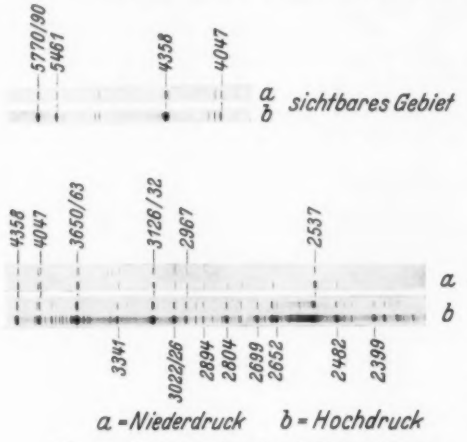

Fig. 11. Spektren der Quecksilberentladung.

keit ergänzen sie sich in gewisser Hinsicht, da die Natriumentladung hauptsächlich für die kleineren, die Quecksilberhochdruckentladung für die größeren Einheiten verwendet wird. Diese Aufteilung der Verwendungsgebiete hat natürliche Gründe. Die Leuchtdichte und Stromdichte der Natriumlampen ist gering; bei Steigerung der Stromdichte sinkt die Lichtausbeute wegen der verstärkten Anregung der wenig zur Lichterzeugung beitragenden „höheren" Linien. Um große Lichtstromeinheiten mit Natriumlampen zu erzeugen, müßten die Dimensionen der Lichtquelle sehr groß gewählt werden, was zu unhandlichen Geleuchten führen würde. Die geringe Leuchtdichte der Natriumlampen ermöglicht eine einfache Geleuchtausbildung.

Bei der Quecksilberhochdrucklampe ist die Leuchtdichte über 10mal größer. Hier steigen sowohl Leuchtdichte wie Lichtausbeute mit der Stromdichte, so daß große Einheiten hier wirtschaftlicher werden.

Die Lichtfarbe der Natrium- und Quecksilberlampen bedingt eine gewisse Beschränkung der Anwendung. Die Na-Lampe (Spektrum siehe Tabelle 3) kann überall dort verwandt werden, wo nichts als eine für den betreffenden Verwendungszweck ausreichende Beleuchtungsstärke und sehr hohe Sehschärfe gefordert wird und Farbunterscheidungen unwichtig sind, die Hg-Hochdrucklampe (Spektrum Fig. 11b) überall dort, wo größere Beleuchtungsstärken erforderlich sind und die veränderte Farbe der beleuchteten Gegenstände (Mangel an Rot) nicht stört.

Einige der Hauptanwendungsgebiete sind für die Natriumlampen: Beleuchtung von Autostraßen, Gleisanlagen, Fabriklager, Werkstätten, in denen Feinarbeiten zu machen sind, und Lichtreklamen.

Für Quecksilberhochdrucklampen: Beleuchtung von verkehrsreichen Plätzen, großen Fabrikhallen, Straßen, große Anleuchtungen, insbesondere von Gebäuden und Grünflächen. (Starke grüne Linie im Spektrum des Quecksilbers.)

Für die Beleuchtung von Überlandverkehrsstraßen haben sich jetzt die Natrium- und Quecksilberhochdrucklampen bereits eingebürgert. Die Zahl der Brennstellen ist zwar im Verhältnis zu denen der übrigen Beleuchtungsarten gering, aber im schnellen Wachstum begriffen.

Bei der für Wechselstrom gebauten technischen Natriumröhre für 70 Watt beträgt die Stromstärke 1,15 Amp., die Spannung 50—55 Volt, der Lichtstrom 3000 HLm. Neben dieser Type wird noch eine für 120 Watt, 6000 HLm gebaut. Die Lichtausbeuten liegen zwischen 43 und 50 HLm/W.

Das eigentliche, aus natriumfestem Glas hergestellte Entladungsrohr hat für eine 70-W-Lampe einen Durchmesser von 2 cm. Die Temperatur dieses Rohres ist im Betriebszustand etwa 280°.

Um die Wärmeverluste gering zu halten, ist das Rohr mit 2 Glasschutzhüllen, einem offenen und einem geschlossenen Glaszylinder, umgeben. Der Zwischenraum ist evakuiert.

Außer Natrium enthält das Innenrohr eine Edelgasfüllung von einigen Millimeter Druck. Wenn das Rohr kalt ist, leuchtet allein die Edelgasfüllung, die Natriumstrahlung tritt erst allmählich, wenn genügend Natriumatome verdampft sind, auf. Schließlich verschwindet die Edelgasfarbe vollständig. Die eine der Oxydelektroden wird beim Einschalten von außen geheizt. Dazu dient bei 220 Volt ein Transformator. Dieser liegt, wie Fig. 12 zeigt, parallel zu der Röhre, hinter der Drosselspule *D*. Wird die Röhre an das Netz angelegt, liegt Netzspannung an der Primärseite des Heiztransformators, so daß die Elektrode voll geheizt wird. Zur Herbeiführung der Zündung sind Glimmzündstrecken in die Röhre eingebaut. Fließt nach der Zündung der normale Betriebsstrom durch die Röhre, dann liegt an dem Heiztransformator nur noch die Röhrenspannung von 50—55 Volt. Seine Wattaufnahme ist dann so

gering, daß man in Anbetracht der zum Abschalten nötigen Relais, die evtl. durch Versagen die stete Zündbereitschaft gefährden, auf ein Abschalten verzichtet.

Wie sich bei der technischen Natriumröhre die zugeführte Leistung ungefähr umsetzt, sei nachstehend angegeben: Es beträgt die durch das Glas hindurchkommende Strahlung des Natriumdampfes 14% (vgl. Tabelle 3), die durch das Glas hindurchkommende Strahlung der Oxydelektroden 10%, die Glasstrahlung 35%, Wärmeverluste durch

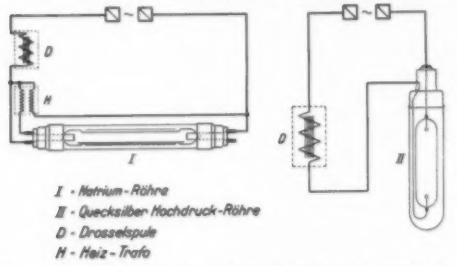

Fig. 12. Schaltung der Natriumlampe (I) und der Quecksilberhochdrucklampe (II).

-leitung und -konvektion 41% der zugeführten Leistung.

Quecksilberentladungslampen gehören zu den mit am längsten bekannten. Die Niederdruckreklameröhre wird schon seit über 10 Jahren benutzt, eine Hochdruckentladungsröhre in Quarzglas wird schon seit 1908 zu therapeutischen Zwecken benutzt. Die Untersuchung der Entladung im Hg in bezug auf die Lichtausbeute zeigte, daß bei niedrigen Drucken und Stromdichten ein Maximum erreicht wird[1]. Nach einem Absinken bei höherer Belastung (Fig. 13) tritt

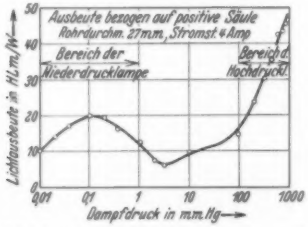

Fig. 13. Lichtausbeute der Quecksilberentladung in Abhängigkeit vom Dampfdruck.

wieder eine Steigerung der Lichtausbeute auf. In diesem Gebiet von etwa 100 mm aufwärts bis zu mehreren Atmosphären arbeiten die Quecksilber-Hochdruckröhren.

Quecksilber-Hochdruckröhren werden für 275 (10000 Lm), 550 Watt (20000 Lm) und 1050 Watt (53000 Lm) gebaut. Ihre Lichtausbeute bewegt sich zwischen 35—50 Lm/W. Die Oxydelektroden der Quecksilber-Hochdrucklampe sind nicht für Fremdheizung eingerichtet. Die Lampen werden direkt über eine Drossel an das Netz, wie Fig. 12 zeigt, geschaltet. Die Quecksilber-Hochdrucklampen enthalten gleichfalls eine Edelgasgrundfüllung. Die Quecksilberdampfdichte beträgt im Betrieb in der Lampe etwa $2{,}7 \cdot 10^{19}$ Atome $\cdot$ cm^{-3}, dies entspricht etwa 1 Atmosphäre. Der Glaskörper des

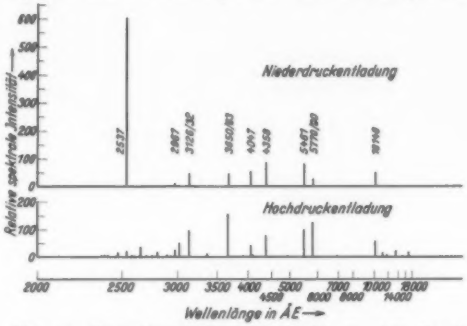

Fig. 14. Energieverteilung im Spektrum der Quecksilber-Hoch- und Niederdruck-Lampe bei gleicher Gesamtstrahlung.

Entladungsrohres hat eine Temperatur von über 300°. Die Entladung ist zusammengeschnürt, von der Wand abgelöst durchzieht sie als stark leuchtender Faden die Mitte des Rohres. Das eigentliche Entladungsrohr ist bei den Lampen mit einem zweiten Glas, einem Schutzmantel, umgeben. Die Spektren der Niederdruck- und der Hg-Hochdrucklampen sind schematisch in Fig. 14 gegeben.

Von den für wissenschaftliche oder technische Untersuchungen gebauten Speziallampen seien die sog. Spektrallampen erwähnt. Es sind kleine Lampen mit verschiedenen Gas- oder Dampffüllungen. Die Fig. 15 zeigt eine Natrium-Spektrallampe. Ähnlich gebaute Lampen werden mit Cadmium, Quecksilber, Zink, Thallium, Rubidium, Cäsium, Kalium, Neon hergestellt. Mit diesen Lampen ist es möglich, in allen Spektralbereichen monochromatische Strahlung herzustellen[1].

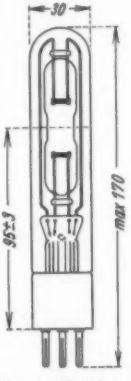

Fig. 15. Natriumspektrallampe für Wechselstrom.

Von weiteren technisch verbreiteten Gasentladungslampen seien noch die mit eingeengtem Lichtbogen, die sog. „Lichtspritzen"[2], die als leuchtende Gase Ne, Hg oder N_2 enthalten, ferner die Kohlensäurelampen für weißes Licht, die Natriumfernseh-

[1] H. Krefft u. E. Summerer, Licht **4**, 1, 23, 86, 105 (1934).

[1] E. Lax u. M. Pirani, Unterrichtsbl. f. Math. u. Naturwiss. **41**, 91/96 (1935).

[2] M. Pirani, Techn.-Wiss. Abh. a. d. Osram-Konzern Berlin **2**, 39 (1931).

Tabelle 5. Daten der hauptsächlichsten Lichtquellentypen.

Art der Lichtanregung	Lampenart				Lichtstrom HLm	Lichtausbeute HLm/W*	Leuchtdichte Stilb
Reine Temperaturstrahlung fester Körper	Gasglühlicht bei Gas mit 4200 cal Heizwert				214–864	1,26	6
	Glühlampen	Kohlefaden			50–500	3,3	71
		Metalldraht	Langdrahtlampen älterer Bauart	Os	160–200	6,7	—
				Ta	160–1000	6,3	82
				W	125–1250	10,9	240
			Wolframwendeldrahtlamp.	luftleer	70–720	7–12	145–318
				gasgefüllt	400–1000000	6,7–32	565–3600
Gleichzeitige Temp.-Strahlung eines festen Körpers u. Gasstrahl.	Anteil der Temperaturstrahlung	groß	Wolframbogen		400–10000	bis 30	2000–3000
			Kohlebogen		5000–18850	7–30	18000
		klein	Beckbogen		max 600000	10–30	126000
			Solarca (Sunlight)		–	wesentlich U.-V.	–
Reine Gasstrahlung	Strahlung der positiven Säule	Niederdruck Hochspannung	Ne, Hg		250 (pro m)	3–6	0,05–0,1
			CO_2 und N_2		200–400 (pro m)	1–3	0,05–0,1
		Niederdruck Netzspannung	Ne		je nach Größe	10–15	1–2
			Hg		je nach Größe	10–19	1–2
			Na		3000–6000	40–50	14
		Niederdruck	Hg mit Leuchtphosphoren		je nach Größe	25–40	0,5–2
		Hochdruck	Hg		10000–50000	36–50	180
	negatives Glimmlicht		Ne		1,5	0,5	0,02–0,03

* Einschließlich Zusatzgeräte.

lampe und Indikatorlampe sowie Glimmpunktlampe genannt.

Die Übersicht über die Lichterzeugung sei beschlossen mit Angaben über die Eigenschaften der hauptsächlichsten Lichtquellen (Tabelle 5).

Welche der vielen beschriebenen Lichtquellen in Zukunft die Hauptrolle in der Beleuchtungstechnik spielen wird, insbesondere ob ein erhebliches Eindringen der Gasentladungslampen in das ursprünglich der Glühlampenbeleuchtung gehörige Gebiet stattfinden wird, läßt sich heute noch nicht voraussehen. *Eine* sichere Folge aber wird die Bereicherung der Lichtquellentechnik durch die Verwendung der Gasentladungen haben: Sie wird dazu dienen, die Neuentwicklung der Lichttechnik, die in den letzten 10 Jahren dank der verständnisvollen Zusammenarbeit zwischen Physik, Chemie, Physiologie, Psychologie der Sinnesorgane und Wirtschaftswissenschaft angebahnt worden ist, zu fördern und zu beschleunigen

Robert Koch zum Gedächtnis.

Am 27. Mai d. J. hat sich zum 25. Male der Todestag ROBERT KOCHS gejährt. Zum Andenken an diesen großen deutschen Forscher hatten sich am 26. Mai Freunde und Schüler ROBERT KOCHS sowie eine große Zahl geladener Gäste zu einer Gedenkfeier in der neuen Aula der Friedrich Wilhelms-Universität in Berlin eingefunden. Ansprachen des Präsidenten des Reichsgesundheitsamtes, Prof. Dr. REITER, und des Reichsministers Dr. FRICK, würdigten ROBERT KOCH als deutschen Menschen und bahnbrechenden Forscher. Der japanische Botschafter MUSHAKOJI sprach über die Beziehungen ROBERT KOCHS zum Auslande und gedachte besonders der Ehrungen, die KOCH bei seinem Besuche in Japan im Jahre 1908 von seinen japanischen Verehrern zuteil geworden sind. Ministerialdirektor Dr. GÜTT übermittelte als Vorsitzender der Robert Koch-Stiftung den Dank der Reichsregierung für die Spenden, die eine Wiederaufrichtung der Stiftung ermöglicht haben. Die Robert Koch-Stiftung soll Mittel beschaffen, damit die deutsche Wissenschaft auf dem Gebiete der Seuchenforschung und -bekämpfung den Platz behaupten kann, den einst ROBERT KOCH ihr errungen hat. Die von Geheimrat KOLLE, Frankfurt a. M., einem Schüler ROBERT KOCHS, verfaßte Festrede würdigte das Lebenswerk KOCHS für die Erkennung, Verhütung und Heilung der Infektionskrankheiten. Da KOLLE wenige Tage vor der Feier verstorben war, wurde seine Festrede von Prof. HETSCH verlesen. Schließlich gedachte der letzte Assistent ROBERT KOCHS, Prof. MÖLLERS, in zu Herzen gehenden Worten der letzten Lebensjahre des großen Meisters.

Durch diese Gedenkfeier hat Deutschland das Andenken eines Mannes geehrt, der zu den bedeutendsten Forschern aller Zeiten zu rechnen ist. ROBERT KOCH war nicht allein ein großer Arzt und Wohltäter der Menschheit, sondern gleicherweise ein bahnbrechender Naturforscher, der eine bisher unbekannte Welt der naturwissenschaftlichen Erkenntnis erschlossen hat. ROBERT KOCH hat sich stets auf den Boden der Tatsachen gestellt und durch das Experiment die ihm vorschwebenden Probleme zu lösen gesucht. Seine Forschungsarbeiten hatten von vornherein ein bestimmtes Ziel im Auge, so daß die Forschung für ihn nicht Selbstzweck, sondern nur Mittel zum Zweck war. Auf diesem Boden hat KOCH die Fundamente der Bakteriologie und Mikrobiologie geschaffen und diese Gebiete zu einer biologischen Wissenschaft ausgebaut. Die Person ROBERT KOCHS hat damit dem Zeitalter der bakteriologischen Forschung das Gepräge gegeben.

Seine Einstellung zu den Naturwissenschaften hat bereits seine Erstlingsarbeit gezeigt, die den Kreis-

physikus Koch von Wollstein in der wissenschaftlichen Welt bekannt gemacht hat. Koch hatte festgestellt, daß die Milzbrandbacillen außerhalb des Tierkörpers Sporen bilden, die beim Eindringen in den Körper wieder in die Bacillenform übergehen. Diese Feststellung, die Licht in die Ätiologie der Milzbrandkrankheit brachte, veranlaßte den Pflanzenphysiologen Ferdinand Cohn in Breslau zu dem Ausspruch, daß er dies für die größte Entdeckung auf dem Gebiete der Mikroorganismen halte und glaube, daß Koch alle noch einmal mit weiteren Entdeckungen überraschen und beschämen werde. Die von Koch begründete Lehre von der Spezifität, d. h. Artverschiedenheit der Mikroorganismen, zeugt ebenfalls für seine streng naturwissenschaftliche Denkweise. Der Ausbau der Methoden der bakteriologischen Forschung ist das Werk Robert Kochs und die Einführung der festen Nährböden sein Verdienst. Sein Hauptwerk, mit dem sein Name für alle Zeiten verbunden sein wird, ist die Entdeckung des Erregers der menschlichen und tierischen Tuberkulose, des Tuberkelbacillus, die er am 24. März 1882 bekanntgegeben hat. Auch in späteren Jahren ist die Erforschung der Tuberkulose sein Arbeitsgebiet geblieben, wobei ihm das Verhältnis der Menschen- und Rindertuberkulose beschäftigt hat. Nach der Entdeckung des Tuberkelbacillus folgten seine bahnbrechenden Arbeiten über den Erreger der Cholera und der Pest, die er in Ägypten und Indien studiert hat. Der Bekämpfung des Typhus und der Malaria hat Robert Koch neue und zum Erfolg führende Bahnen gewiesen.

Eine besondere Vorliebe für Forschungsarbeiten in Ländern, in denen verheerende Menschen- und Tierseuchen heimisch sind, hat ihn in späteren Lebensjahren zu Untersuchungen über tropische Krankheiten angeregt. Diese Arbeiten sind auf naturwissenschaftlicher Grundlage durchgeführt, denn es galt nicht nur, die Erreger von Krankheiten zu ermitteln, von noch größerer Bedeutung war, die Überträger ausfindig zu machen und damit Vorkehrungen für die Verhütung zu treffen. Als Ursache des afrikanischen Rückfallfiebers (Recurrens) fand er eine eigene Spirochäte, die durch eine besondere Zecke (Ornithodorus moubata) übertragen wird. Als Überträger der verlustreichen Tsetsekrankheit der Tiere stellte Koch hauptsächlich Glossina fusca, daneben Gl. morsitans und Gl. pallides, fest und studierte im Körper dieser Fliegen die Entwicklung der ursächlichen Trypanosomen. In Afrika nahm Koch auch Untersuchungen über das Texasfieber und das Küstenfieber der Rinder und ihre verschiedenen Überträger (Zecken) vor und widmete sich dann in Deutsch- und Britisch-Ostafrika der Erforschung der Schlafkrankheit des Menschen. Robert Koch wurde von der Reichsregierung (1906) mit der Leitung einer Kommission beauftragt, die sich mit dem Studium der Erreger (Trypanosomen) und deren Bekämpfung, mit der Krankheit und ihrer Behandlung beschäftigen sollte. Die Bekämpfung der afrikanischen Schlafkrankheit des Menschen und tropischer Tierseuchen hat er so erfolgreich gestaltet, daß weite Gebiete Zentralafrikas erst der Besiedlung und Nutzbarmachung zugeführt werden konnten.

Die außerordentlich erfolgreiche Tätigkeit Robert Kochs auf dem Gebiete der Erforschung und Bekämpfung der ansteckenden Krankheiten hat in der ganzen Welt so große Anerkennung und so viele Ehrungen zur Folge gehabt, die in diesem Ausmaß einem deutschen Forscher noch nicht zuteil geworden waren. Robert Koch war Ritter der Friedensklasse des Ordens Pour le mérite und Nobelpreisträger. Der deutsche Kaiser hat seinerzeit das Gedächtnis an den Entschlafenen geehrt durch die Anordnung, daß die Stätte seiner früheren Wirksamkeit fortan die Bezeichnung Institut für Infektionskrankheiten „Robert Koch" zu führen hätte. Trotz aller Ehrungen und trotzdem sein Name mit der Entdeckung des Tuberkelbacillus Unsterblichkeit erlangt hatte, ist Robert Koch stets der gleiche einfache und selbstlose Mensch geblieben. Das Andenken an diesen als Arzt wie als Naturforscher gleich großen Mann, der ein geborener Forscher und Führer und einer der bedeutendsten Männer seiner Zeit gewesen ist, verpflichtet die Nachwelt. Die Größe dieses Mannes würdigt die Inschrift auf einer Medaille, die ihm am 11. Februar 1908 von der Berliner Ärzteschaft überreicht wurde: „Aus der Welt im Kleinen schufst Du Deine Größe und eroberst den Erdkreis, der dankerfüllt Dir den Kranz der Unsterblichkeit reicht."

Kurt Poppe.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Komplexe Viskosität.

Auf drei verschiedenen Gebieten der Physik tauchte in der letzten Zeit die Frage nach der Abnahme der Dämpfung mit der Frequenz auf. Das erste betrifft Flüssigkeiten mit Strukturviskosität, deren Zähigkeit sowohl mit zunehmender Schubspannung, wie mit zunehmender Frequenz abnimmt. Das zweite betrifft dielektrische Verluste infolge Dipolrotation. Es hat den Anschein, als ob bei hochviskösen Ölen, noch mehr bei amorphen Stoffen die ihr zugrunde liegende Zähigkeit wesentlich niedriger läge als der entsprechende statische Wert. Die dritte Gruppe betrifft akustische Wellen in festen Stoffen, die auch auf ähnlichen Tatbestand schließen lassen.

Nur die erste dieser Gruppen fand bisher ausgedehnte Bearbeitung. Hencky entwickelte eine Theorie, welche auf dem von Maxwell eingeführten Begriff der relaxierenden Elastizität beruht. Es scheint dem Verf., daß dieselbe Annahme in erweiterter Fassung auch die beiden anderen Gruppen zu erklären vermag[1]. Dementsprechend sollte ganz allgemein in schwingenden Systemen der Dämpfungsterm durch eine komplexe Impedanz ersetzt werden, welche möglichst den gesamten Übergangsbereich flüssig-fest umfaßt und sowohl auf elektrische wie akustische Vorgänge angewendet werden kann. Die einfachste Annäherung einer solchen Impedanz wäre ein Widerstand R_0 parallel mit einer Serienschaltung von Widerstand R und Kapazität C. Ihre physikalische Bedeutung erhellt aus der Betrachtung einer Struktur, deren Molekeln zwar durch Gitterkräfte gebunden, jedoch gleichzeitig fähig sind, ihren Platz zu wechseln. R_0 stellt den reinen Viskositätsterm dar, C ist das Reziproke der Steifheit, welche von den Gitterkräften herrührt und R ist der Widerstand entsprechend dem Wärmeverlust während der elastischen Deformation (meistens klein im Verhältnis zu R_0). Das wirkliche Ersatzbild ist sicher komplizierter.

In einer reinen Flüssigkeit ist die Zeitkonstante CR_0 sehr klein. Bei Vorhandensein von Fließfestigkeit nimmt sie zu, entsprechend dem Maxwellschen Begriff. In einem Kristall andererseits ist $R_0 = \infty$ und dieser Fall stellt demnach Kapazität und Widerstand in Serie vor, entsprechend der üblichen Darstellung unvollkommen elastischer Körper. Im allgemeinen Fall sind alle drei Werte endlich und die Dämpfung nimmt daher mit zunehmender Frequenz ab. Für Frequenzen unterhalb einem kritischen Wert ist die Dämpfung durch R_0 dargestellt.

[1] Eine vorangegangene Arbeit des Verf. [Philosophic. Mag. 19, 746 (1935)] zeigte nur allgemein die Anwendbarkeit der Dipoltheorie auf amorphe Stoffe, ließ jedoch die Frage nach der Veränderlichkeit der Zähigkeit mit der Frequenz offen.

darüber hinaus durch R, welcher vom vorigen einen gänzlich verschiedenen Wert hat. Die resultierende Steifheit der Impedanz kommt zu der schon anderweitig vorhandenen hinzu. Die Trägheit des Systems wird durch diese Verallgemeinerung des Widerstandes nicht beeinflußt.

Die näheren Folgerungen bezüglich dielektrischer Verluste und Dämpfung von akustischen Wellen werden anderswo veröffentlicht.

Oxford, University, Engineering Laboratory, den 14. Mai 1935. A. GEMANT.

Über einen neuen Farbstoff mit Lycopin-Spektrum.

Gewisse Lycopinpräparate, die keine chromatographische Reinigung durchgemacht hatten, enthalten kleine Mengen eines Carotinoids, das aus Benzol, in der Calciumhydroxydsäule, oberhalb des Hauptfarbstoffes festgehalten wird und durch Nachwaschen mit dem genannten Lösungsmittel sich scharf abtrennen läßt.

Das z. B. aus den reifen Früchten des Solanum dulcamara gewonnene Polyen verhält sich bei der Entmischung zwischen Benzin und 90proz. Methanol wie Lycopin rein epiphasisch, und ferner zeigt es ein scharfes Lycopin-Spektrum, sowohl in Benzin oder Hexan als auch in Schwefelkohlenstoff. Im letzteren Solvent liegen die Extinktionsmaxima bei 547, 507, 474 und (444) mμ. Aus Benzol + Methanol schießen glänzende Krystalle hervor; bei mäßiger Vergrößerung erblickt man viereckige, violettstichig rote Prismen. Schmelzpunkt 151° (korr., scharf), Misch-schmelzpunkt mit überschüssigem Lycopin (Schmelzpunkt 172°): unscharf gegen 130°. Künstliche Gemische mit Tomaten-, Tamus- oder Solanum-Lycopin lassen sich in der angeführten Weise adsorptionsanalytisch wieder aufteilen. Merklich ungünstiger verläuft die Trennung im Al_2O_3-Chromatogramm.

Wir beschäftigen uns mit dem Nachweis des neuen Farbstoffes in Lycopin-führenden Pflanzenteilen bzw. in Krystallisaten, sowie mit der Isolierung in größerem Maßstab.

Pécs (Ungarn), Chemisches Institut der Universität, den 19. Mai 1935. L. ZECHMEISTER. L. v. CHOLNOKY.

Geographische Mitteilungen.

Die Photogrammetrie und das moderne Kartenproblem. (RICHARD FINSTERWALDER, Die Bedeutung der neuen photogrammetrischen Methoden für das Vermessungswesen. Sonderdruck aus den Allgemeinen Vermessungs-Nachrichten **1934**, H. 17, 18 u. 19. Berlin-Bad Liebenwerda: Verlag H. Wichmann. 28 S., 7 Abb.) Die Photogrammetrie hat auf dem Gebiete des Aufnahmewesens und der mit diesem eng verbundenen Kartographie eine starke Bewegung hervorgerufen, die in glücklichster Weise befruchtend wirken kann. Dazu ist aber eine klare Erkenntnis der Möglichkeiten und Grenzen des neuen Verfahrens nötig, und es ist zu begrüßen, daß einer der bekanntesten Vorkämpfer der Photogrammetrie, RICHARD FINSTERWALDER in Hannover, in verständnisvoll abwägender Weise zu diesen Fragen Stellung nimmt. Die Ausbildung der photogrammetrischen Technik, auf der in den letzten Jahrzehnten der Entwicklung das Schwergewicht lag, ist nach der Meinung FINSTERWALDERS zu einem gewissen Abschluß gekommen, und er rückt nun eine doppelte Aufgabe in den Vordergrund, die für die Weiterarbeit richtunggebend sein müsse: es gilt die Gefahr der Mechanisierung zu vermeiden und das neue Verfahren organisch in den Gesamtaufbau des Vermessungswesens einzugliedern.

Der Gefahr der Mechanisierung kann wenigstens bis zu einem gewissen Grade dadurch begegnet werden, daß man sämtliche Arbeitsvorgänge grundsätzlich von demselben Bearbeiter ausführen läßt und so den Zusammenhang mit der Natur, der bei dem alten „edlen" Meßtischverfahren in geradezu idealer Weise vorhanden ist, nach Möglichkeit wahrt. Die zweite Aufgabestellung beweist, daß die Photogrammetrie nicht mit dem Anspruch auftritt, die vorhandenen Aufnahmeverfahren generell ersetzen zu wollen. Auf geodätischem Gebiet liegt die Stärke der Photogrammmetrie bisher nicht in der Triangulation (obwohl hoffnungsvolle Ansätze in der Luftphotogrammetrie vorhanden sind), sondern in der Kleinpunktbestimmung und vor allem in der neuen Möglichkeit der direkten *kontinuierlichen Einmessung von Linien*, die die bisherige, immer nur punktweise arbeitende Geodäsie nicht kannte. Das sind Eigenschaften, die die Photogrammmetrie besonders auf die Topographie als Arbeitsfeld hinweisen. Hier wird allerdings schon eine Einschränkung gemacht. Sobald nämlich eine dreidimensionale Betätigung der Auswertegeräte erforderlich ist wie z. B. bei Straßen, die im Gelände auf und ab gehen, vergrößern sich gewisse manuelle Schwierigkeiten, von denen weiter unten noch die Rede sein wird. Viel günstiger liegen die Verhältnisse bei der Aufnahme von Schicht- (Niveau-) Linien, die in der jeweils eingestellten Höhenlage verbleiben und somit nur eine zweidimensionale Auswertetätigkeit erfordern. Schichtlinien lassen sich daher unter günstigsten Bedingungen mit einer Genauigkeit von $\pm$ 0,2 mm konstruieren.

In dieser Tatsache, daß die Photogrammetrie die Schichtlinien aus gefühlsmäßig interpolierten Linien zu Meßlinien gemacht hat, liegt ein grundsätzlicher Fortschritt, der auf die kartographische Geländedarstellung revolutionierend wirken muß. Die bildmäßige Wirkung der photogrammetrischen „exakten" Schichtlinienaufnahme ist von dem ausgeglichenen Linienbild der bisher üblichen Darstellungsweise fundamental verschieden. Es ergibt sich ein ganz anderer Stil, in den man sich erst einleben muß, dessen Wesensart man aber keinesfalls, wie es gelegentlich geschehen ist, durch ausgleichende Überarbeitung verwischen soll. Die starke Bewegtheit der Linien, die im einzelnen lebensvoll und natürlich wirkt, zerstört allerdings leicht die Plastik der großen Formen, wie ja überhaupt die Schichtlinie allein kein genügendes Geländedarstellungsmittel ist, und so fordert FINSTERWALDER eine zusammenfassende Kenntlichmachung der Formen durch „zusätzliche Geländezeichnung", worunter er eine stark differenzierte, leider schwierig zu reproduzierende Schattengebung versteht.

Wenn man, wie es in diesem Zusammenhang selbstverständlich ist, unter „Karte" die topographische Karte großen Maßstabes versteht, dann ist mit diesen Ausführungen das „moderne Kartenproblem" umrissen, auf das FINSTERWALDER mit großem Ernst hinweist. Die neueste Entwicklung der Kartographie hat die geodätische Lagegenauigkeit in ungeahnter Weise gesteigert, bis hin zu den „exakten" Schichtlinien der Photogrammetrie. Aber ein darstellerischer *Stil*, wie ihn — um nur ein Beispiel zu nennen — etwa unsere alte „Generalstabskarte", die Karte des Deutschen Reiches 1 : 100000, besitzt, ist verloren gegangen. Jetzt heißt es, auf der Grundlage und unter voller Erhaltung der gewonnenen Genauigkeit und unter Ausnutzung aller Errungenschaften moderner Reproduktionstechnik eine schöpferische Darstellungskraft zu entwickeln. Über die Frage der Wirtschaftlichkeit, die dabei natürlich nicht übersehen werden darf, ist mangels größerer Erfahrungen noch nicht viel zu sagen. In dieser Hinsicht wird alles davon abhängen, daß man die neuen Verfahren an der richtigen Stelle einsetzt.

In einem Vortrag, den FINSTERWALDER auf dem Berliner Kartographenabend am 19. März 1935 über das gleiche Thema hielt, kamen manche der schon

berührten Probleme noch schärfer heraus. Hervorgehoben sei die Betonung der schon erwähnten manuellen Schwierigkeiten bei der Auswertung, die eine Hauptfehlerquelle darstellen. Der Raumeindruck, den man bei der stereoskopischen Betrachtung hat, ist ja weit genauer als die Messung, die man ausführen kann. Gewiß wird niemand bestreiten wollen, daß die modernen Auswertegeräte wahre Wunderwerke der Präzisionsmechanik sind. Es ist aber klar, daß der Auswerter, wenn er die Meßmarke mit Kurbeln durch das Raumbild dirigiert und dabei *die Zeichnung nicht sieht*, nicht so mit den Nerven arbeiten kann, wie es der Zeichner mit seinem leichten, auf den feinsten Impuls reagierenden Werkzeug und im Angesicht der entstehenden Zeichnung vermag. Hier sind also Ansatzpunkte konstruktiver Weiterarbeit aufgezeigt. Stark betont und auch in der Diskussion mit großem Interesse aufgenommen wurde die Frage, wie man wenigstens bei der terrestrischen Photogrammetrie die enge Fühlung mit der abzubildenden Natur erhalten könne. Dabei wurde die von FINSTERWALDER bereits in seinem Aufsatz vorgeschlagene organisatorische Zusammenlegung des ganzen Arbeitsvorganges in einer Hand, und zwar in der Hand des *Topographen* befürwortet und ergänzend gefordert, daß der Topograph nach erfolgter Auswertung mit dem gewonnenen Schichtlinienplan in das Gelände hinaus gehen und das rein photogrammetrische Bild an der Natur prüfen und gegebenenfalls berichtigen müsse.

R. J. RUSSELL, Geomorphologe und Klimatologe in Louisiana, bringt in einem Aufsatz „**Klimatische Jahre**" (The Geographical Review **1934**, Januar-H., 92—103) neue Gedanken zur Methodik der regionalen Klimatologie, die zum Teil umwälzender Natur sind und sicher fruchtbare Möglichkeiten bergen. „Klimate sind nicht konstant in ihrer Lage, und es ist trügerisch, sie so zu betrachten" — das ist der kritische Ausgangspunkt seiner Gedankengänge, die sich, insoweit sie kritisch sind, gegen die alte, schon als selbstverständlich betrachtete Anschauung wenden, daß die Zuverlässigkeit klimatischer Werte von der Länge der Beobachtungsdauer abhinge. Nun ist sicher auch für seine Betrachtungsweise die Länge der Beobachtungsdauer nicht ohne Wert. Was er bekämpft, ist die übliche Auswertung sehr langer, über viele Jahrzehnte sich erstreckender Beobachtungsreihen auf dem Wege der Mittelbildung, wobei die aus dem Normalen herausfallenden Beobachtungen „durch die List der Beschwörung in langen Durchschnittswerten" einfach ausgestrichen werden. Dieser an sich nicht neue kritische Einwand wird nun, wie wir noch sehen werden, zu einem sehr positiven Grundsatz ausgestaltet. Die „herausfallenden Werte", die dabei eine so wesentliche Rolle spielen, sind freilich keine Einzelbeobachtungen sondern in sich bereits ausgewertete Beobachtungskomplexe: im Mittelpunkt der Untersuchungen steht ja der Begriff des „Klimatischen Jahres" als eines je nach der Klimazone verschiedenen typischen Ablaufs der klimatischen Erscheinungen im Zeitraum eines Jahres. RUSSELL verwendet hier gern anschauliche Bezeichnungen wie Wüsten-, Steppen-, Savannenjahr usw., die sofort den Eindruck einer zugehörigen Landschaft hervorrufen, und in der Tat ist ihm diese Beziehung zur Landschaft von größter Bedeutung. Die Landschaft wird durch das Klima geformt, und zwar sowohl die Naturlandschaft mit ihren Oberflächenformen und ihrer Vegetation, wie die Kulturlandschaft mit ihren charakteristischen Anbaugewächsen und der Siedlungsweise ihrer Bewohner. Ist also das Klima, wie RUSSELL ja voraussetzt, nicht überall konstant, so muß auch das Landschaftsbild Veränderungen unterliegen, denn die Entwicklung strebt immer und grundsätzlich nach einem Gleichgewicht zwischen Klima und Landschaft. Dabei sind manche der landschaftlichen Elemente labiler — z. B. Teile der Pflanzenwelt —, sie folgen auch einer sprunghaften klimatischen Veränderung verhältnismäßig rasch, und es entstehen Dissonanzen im Landschaftsbild, die im Gange befindliche klimatische Veränderungen anzeigen. Wollen wir solche aufeinander folgende Landschaften studieren, so brauchen wir eine sukzessionale Klimatologie, d. h. eine Serie von Klimatographien; jede soll eine Zeitspanne von höchstens 20 Jahren umfassen, die genügt, um eine Landschaft in ihre Komponentgruppen von Formen zu zerlegen. Die jüngste dieser Klimatographien ergäbe eine Darstellung des heutigen Zustandes.

Wenn wir eine gemischte Landschaft differenzieren, schälen wir ihren prozentualen Anteil an bestimmten, begrifflich fest umrissenen Klimatypen heraus. Dabei nehmen wir an, daß diese Klimatypen (deren Begriffsbestimmung an sich hier nicht zur Debatte steht) auch in völliger Reinheit tatsächlich vorkommen, daß es also klimatische Kerngebiete gibt, in denen der charakteristische Jahresverlauf, das „klimatische Jahr" des betreffenden Klimatypus in allen Jahren der verlangten Zeitspanne hundertprozentig erfüllt wird. Die Räume dieser Kerngebiete werden oft recht klein sein. Bewegen wir uns von einem Kerngebiet fort in Richtung auf ein anderes, so beginnt die Häufigkeit des betreffenden klimatischen Jahrtypus unter 100% zu fallen, Jahre eines anderen Klimatypus treten bei weiterem Fortschreiten immer häufiger auf, bis sie überwiegen und schließlich hundertprozentig wirksam sind: das andere Kerngebiet ist erreicht. Eine Häufigkeit von je 50% könnten wir als Grenze zwischen beiden bezeichnen und so die Übergangszone zwischen ihnen aufteilen. Das wäre jedoch die gewöhnlich geübte Einsetzung einer kartographischen Linie für eine Zone in der Natur, und es erscheint RUSSELL befriedigender, die Übergangszone als eigenes Gebiet anzuerkennen.

Für die Erforschung und Festlegung der Übergangszonen werden kritisch-methodische Grundsätze aufgestellt, die sich nach dem bisher Gesagten auf die Wertung der sog. herausfallenden Jahre konzentrieren müssen. Entscheidend ist für RUSSELL immer wieder die Beziehung zur Landschaft. Aber er baut für diese Beziehung ein neues Fundament, indem er die „blinde Voraussetzung" fallen läßt, daß die Landschaftsformen hauptsächlich durch die normalen klimatischen Verhältnisse bestimmt seien. Vielmehr geben nach seiner Meinung gerade die herausfallenden Jahre ein Kriterium für die Einengung und endliche Abgrenzung der begrifflich reinen Kernklimate, wobei sich jetzt die Wertbeziehung umkehrt: ungewöhnliche Jahre, die *nicht* in der Landschaft ausgedrückt sind, sollen vernachlässigt werden. Das heißt also, daß Übergangszonen sich räumlich immer mit Landschaften decken müssen, die mehr oder weniger ausgeprägte Überlagerungen verschiedener klimatischer Formelemente zeigen. RUSSELL hat nach diesen Grundsätzen und auf Grund KÖPPENscher Definitionen eine Klimakarte der Vereinigten Staaten entworfen, die jedenfalls die praktische Verwendbarkeit seiner Ideen beweist und eine gute Übereinstimmung der klimatischen Grenzen mit denen der Naturlandschaften, der Lebensregionen und ganz besonders der Kulturlandschaften zeigt. Die sich ergebende große Ausdehnung der Übergangszonen ist für ihn im Hinblick auf die außerordentlich großen Verschiedenheiten der Kernklimate logisch notwendig und somit eine Bestätigung seiner Gedankengänge.

KURT KAEHNE.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. Dr. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.